

Pengukuran Konstanta Dielektrik Minyak

Yustina Gradiana Sulu*, Ign. Edi Santosa**

Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma,
Paingan, Maguwohardjo, Depok- Sleman, telp. 0274-883037
e-mail: * gradianasulu@gmail.com, ** edi@usd.ac.id

Abstrak – Konstanta dielektrik minyak telah diukur lewat proses pengisian dan pengosongan kapasitor. Sebuah kapasitor keping dengan medium udara dirangkai dengan tahanan. Sinyal kotak dari audio frekuensi generator diberikan pada rangkaian. Selama pengisian kapasitor, tegangan pada tahanan akan turun secara eksponensial. Tegangan pada tahanan diamati dan direkam dengan menggunakan oskiloskop Tektronix TBS 1052B. Data tegangan ini kemudian difit dengan persamaan tegangan pada tahanan untuk mengetahui nilai konstanta waktu. Dari nilai tahanan dan konstanta waktunya selanjutnya dapat dihitung nilai kapasitan kapasitor keping dengan medium udara. Selanjutnya kapasitor dicelupkan ke dalam minyak. Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai kapasitan dari kapasitor keping dengan medium minyak. Nilai konstanta dielektrik minyak dihitung dari ratio kedua nilai kapasitan tersebut. Dari eksperimen ini diperoleh nilai konstanta dielektrik berbagai minyak yaitu minyak goreng sebesar $k=2,5\pm0,1$, minyak goreng bekas pakai sebesar $k=2,8\pm0,1$, minyak trafo sebesar $k=3,1\pm0,1$, dan minyak trafo bekas pakai sebesar $k=3,2\pm0,1$. Metode pengukuran ini dapat digunakan untuk praktikum listrik magnet di perguruan tinggi.

Kata kunci: kapasitor, konstanta waktu, kapasitan, konstanta dielektrik

Abstract – Measurements of dielectric constant of various oils have been done based on the process of charging the capacitor. A parallel plate capacitor was used in a RC circuit with an audio frequency generator as a power supply. The voltage in the resistor was monitored using an oscilloscope (Tektronix TBS 1052B) to obtain the time constant of the charging process. The capacitance was determined from the obtained time constant and the resistance. The same method was used to measure the capacitance of the capacitor immersed in different oils. The oil dielectric constant was calculated as the ratio of the capacitance of the capacitor in the oil to the capacitance of the capacitor in the air. The dielectric constant of edible oil, used edible oil, transformer oil and used transformer oil were 2.5 ± 0.1 , 2.8 ± 0.1 , 3.1 ± 0.1 and 3.2 ± 0.1 , respectively. This experiment can be used as the subject in the electricity and magnetism experimental course.

Keywords: capacitor, time constant, capacitance, dielectric constant

I. PENDAHULUAN

Banyak penelitian yang dilakukan untuk mengukur nilai konstanta dielektrik dari suatu bahan. Konstanta dielektrik lembaran plastik telah diukur menggunakan *capacitance meter* dengan cara mengukur kapasitan dari kapasitor keping sejajar. Pengukuran dilakukan dengan peralatan yang sangat sederhana serta pengambilan data yang mudah dan cepat [1]. Bahan lain yaitu teflon telah diukur konstanta dielektriknya menggunakan kapasitor keping yang terbuat dari lembaran aluminium foil dan multimeter digital. Nilai konstanta dielektrik teflon diperoleh dari kemiringan grafik hubungan antara kapasitan kapasitor dengan invers tebal bahan dielektriknya [2].

Penelitian bahan lainnya juga dilakukan oleh Susi yaitu pengukuran konstanta dielektrikum kertas menggunakan osiloskop digital dan AFG. Pengukuran tersebut dilakukan dengan cara mengukur konstanta waktu pada proses pengisian kapasitor. Untuk mendapatkan nilai tersebut, data tegangan setiap saat difit dengan menggunakan persamaan yang sesuai. Dengan mengetahui nilai konstanta waktu dan nilai tahanan, dapat ditentukan nilai kapasitannya. Selanjutnya dari nilai kapasitan dibuat grafik hubungan kapasitan terhadap luas keping maupun terhadap tebal bahan dielektrik. Dari nilai kapasitan ini, nilai konstanta dielektrikum dapat ditentukan [3].

Masalah yang timbulkan dari penelitian tersebut adalah pengukuran tebal kertas menggunakan mikrometer sekrup yang mengakibatkan kertas tersebut terjepit. Selain itu juga karena pengubahan jarak antar keping dilakukan dengan menambah jumlah lembaran kertas sehingga masih ada kemungkinan adanya rongga atau lapisan udara.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode yang berbeda-beda, hampir semua pengukuran yang dilakukan hanya tertuju pada bahan dielektrik padat, sedangkan bahan dielektrik dapat berwujud zat padat, cair, dan juga gas. Oleh karena itu, sebuah eksperimen sederhana menghadirkan pengukuran konstanta dielektrik pada zat cair. Horacio melakukan pengukuran konstanta dielektrik pada minyak goreng menggunakan kapasitan meter. Percobaan yang dilakukan yaitu dengan mengukur kapasitan kapasitor di udara dan mengukur kapasitan kapasitor dari berbagai sampel minyak. Selanjutnya, nilai konstanta dielektrik diperoleh dari perbandingan dari kedua nilai tersebut. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik berubah untuk waktu pemanasan minyak yang berbeda [4].

Dari penelitian yang telah dibahas di atas, pengukuran konstanta dielektrik suatu bahan dilakukan dengan menentukan nilai kapasitan kapasitor keping. Pengukuran

kapasitan dapat dilakukan secara langsung maupun melalui proses pengisian dan pengosongan kapasitor.

Dengan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Horacio [4] dan juga Susi [3], penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menentukan nilai konstanta dielektrik dari beberapa sampel minyak melalui proses pengisian dan pengosongan kapasitor dengan mengukur nilai konstanta waktu pengisian kapasitor. Pengukuran ini dilakukan dengan dua cara yakni pengukuran kapasitan kapasitor di udara (tanpa minyak) dan pengukuran kapasitan kapasitor yang dicelupkan kedalam minyak. Untuk mendapatkan nilai konstanta waktu data tegangan setiap saat difit dengan menggunakan persamaan yang sesuai. Selanjutnya, nilai kapasitan diperoleh dari gradien grafik hubungan konstanta waktu terhadap nilai tahanan. Dengan mengetahui nilai kapasitan kapasitor di udara (tanpa minyak) dan nilai kapasitan kapasitor yang dicelupkan kedalam minyak, maka nilai konstanta dielektrik minyak dapat diketahui dari perbandingan kedua nilai tersebut. Penelitian ini menggunakan alat yang sederhana, murah dan mudah didapatkan serta pengambilan datanya tidak membutuhkan waktu yang lama.

II. LANDASAN TEORI

Kapasitor tersusun dari keping sejajar dan tidak saling menyentuh. Agar antar keping tidak saling menyentuh dan posisi kapasitor tetap sama maka setiap ujung keping diberi pembatas dan bagian luar kapasitor diberi penjepit dari bahan isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Bahan dielektrik yang digunakan berupa minyak goreng dan minyak trafo. Kapasitor yang digunakan dirangkai dengan tahanan seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Susunan kapasitor yang digunakan dalam penelitian.

Pada rangkaian RC seperti pada gambar 2, berlaku hubungan antara tegangan pada kapasitor V_C , tegangan pada tahanan V_R dan tegangan catu daya E mengikuti [3]:

$$E = V_C + V_R \quad (1)$$

Nilai tegangan pada kapasitor dan tahanan mengikuti persamaan (2) dan (3):

$$V_C = \frac{Q}{C} \quad (2)$$

$$V_R = R \frac{dQ}{dt} \quad (3)$$

dengan R nilai tahanan, C kapasitan kapasitor, Q muatan yang tersimpan di kapasitor dan dQ/dt menyatakan arus yang mengalir melalui tahanan. Dengan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) dapat diperoleh nilai arus yang mengalir setiap saat adalah

$$I = \frac{E}{R} \exp(-t/\tau) \quad (4)$$

dengan konstanta waktu sebesar

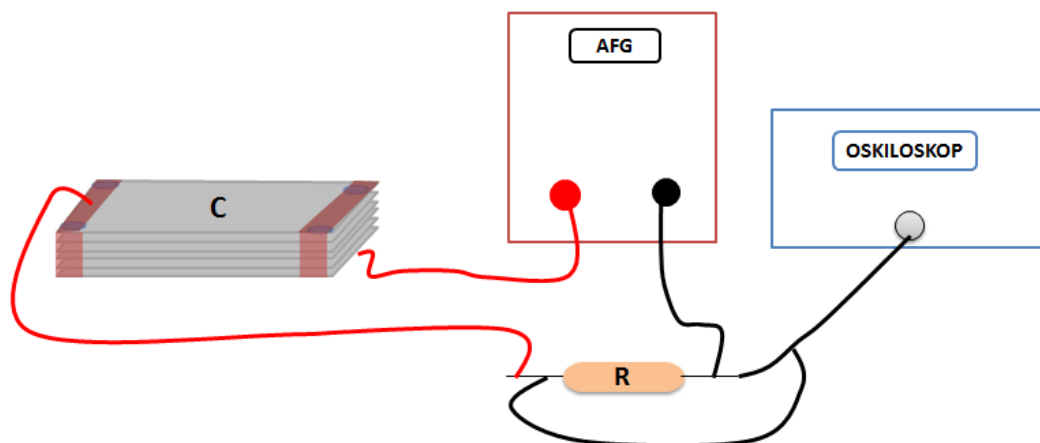
$$\tau = RC \quad (5)$$

Dari persamaan (4) dapat diperoleh nilai tegangan pada tahanan R menjadi

$$V_R = E \exp(-t/\tau) \quad (6)$$

III. METODE PENELITIAN

Tahanan yang digunakan dalam rangkaian antara 180 K Ω – 1,2 M Ω . Sinyal kotak dari audio frekuensi generator (AFG) digunakan sebagai catu daya yang diberikan pada rangkaian. Tegangan pada tahanan diamati dengan menggunakan osiloskop *Tektronix TBS 1052B* selama proses pengisian kapasitor. Data tegangan setiap saat direkam dengan menggunakan fasilitas yang tersedia pada osiloskop. Selanjutnya, data tersebut ditransfer dan dianalisis menggunakan *software Logger Pro*.



Gambar 2. Skema rangkaian dalam penelitian. Kapasitor keping C yang ditempatkan di udara dirangkai dengan tahanan R dan AFG. Osiloskop digunakan untuk mengukur tegangan pada tahanan.

Nilai konstanta waktu selama proses pengisian kapasitor dapat diperoleh dari grafik hubungan tegangan terhadap waktu dengan menggunakan persamaan (6). Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan nilai kapasitan kapasitor dengan membuat grafik hubungan konstanta waktu terhadap tahanan mengikuti persamaan (5). Nilai kapasitan diperoleh dari nilai gradien grafik.

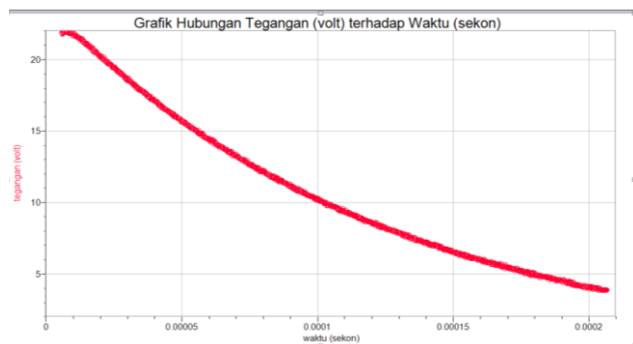
Dengan mendapatkan nilai kapasitan kapasitor di udara C_0 dan nilai kapasitan kapasitor yang dicelupkan ke dalam minyak C , maka nilai konstanta dielektrik k dapat dihitung menggunakan persamaan (5)

$$k = \frac{C}{C_0} \quad (7)$$

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan bahan dielektriknya yakni menggunakan minyak goreng dan minyak trafo. Dari minyak tersebut dibedakan lagi menjadi minyak yang belum pernah digunakan maupun yang sudah pernah digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen dilakukan dengan rangkaian seperti pada Gambar 2. Hasil pengukuran tegangan selama proses pengisian kapasitor untuk kapasitor di udara pada tahanan 180 K Ω disajikan pada Gambar 3. Data tegangan dan waktu yang teramati difitting dengan persamaan (6) menggunakan aplikasi *Logger Pro*, sehingga diperoleh nilai konstanta waktunya. Nilai konstanta waktu untuk tahanan 180 k Ω yang didapat adalah $(738 \pm 5) \times 10$ sekond.



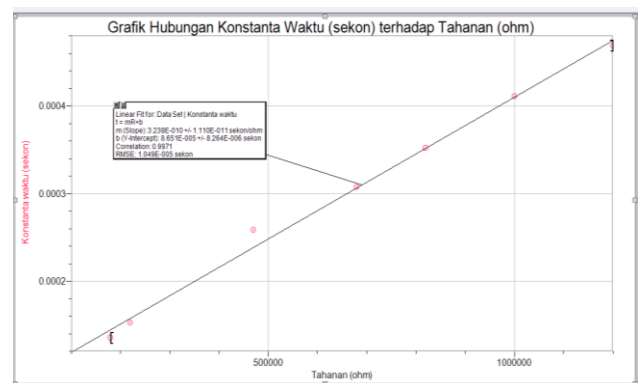
Gambar 3. Grafik hubungan tegangan pada tahanan 180 k Ω terhadap waktu selama proses pengisian kapasitor di udara (tanpa minyak).

Dengan cara yang sama, untuk pengukuran tegangan dan waktu pada nilai tahanan yang berbeda sehingga didapatkan nilai konstanta waktu untuk masing-masing nilai tahanan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai tahanan dan konstanta waktu untuk pengukuran kapasitan kapasitor di udara (tanpa minyak).

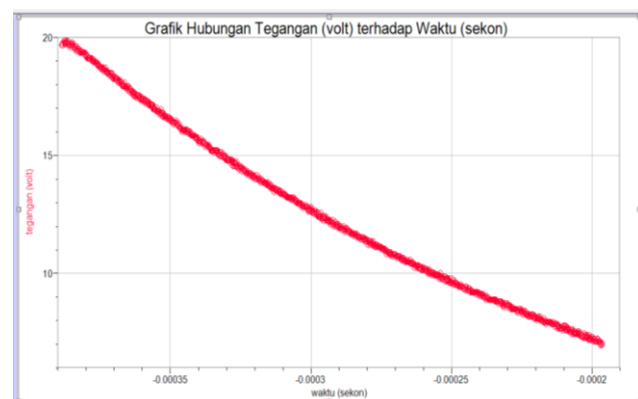
| No. | R (k Ω) | ($\tau \pm \Delta \tau$) s |
|-----|------------------|------------------------------|
| 1 | 180 | $(738 \pm 5) \times 10$ |
| 2 | 220 | $(656 \pm 4) \times 10$ |
| 3 | 470 | $(387 \pm 8) \times 10$ |
| 4 | 680 | $(326 \pm 3) \times 10$ |
| 5 | 820 | $(284 \pm 4) \times 10$ |
| 6 | 1000 | $(24 \pm 1) \times 10^2$ |
| 7 | 1200 | $(21 \pm 2) \times 10^2$ |

Dari Tabel 1, nilai kapasitan kapasitor di udara dapat dihitung menggunakan persamaan (5) dengan membuat grafik hubungan konstanta waktu terhadap tahanan seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai kapasitan diperoleh dari nilai gradien grafik, yaitu $(32,4 \pm 0,1) \times 10$ pF.



Gambar 4. Grafik hubungan konstanta waktu terhadap tahanan di udara (tanpa minyak).

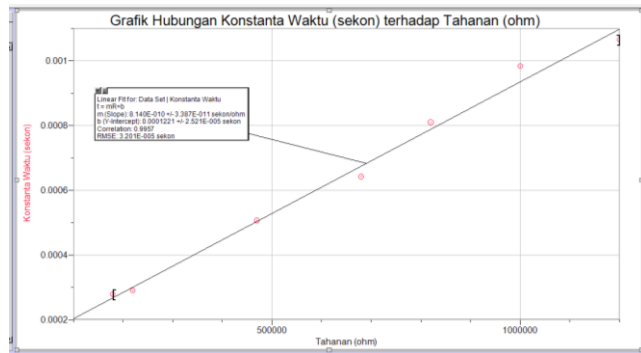
Cara yang sama digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitan minyak goreng. Kapasitor yang dimasukkan ke dalam wadah berisi minyak harus tercelup semua dan tidak ada gelembung udara. Hasil pengukuran untuk nilai konstanta waktu dan nilai kapasitan pada kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan pada tahanan 180 K Ω terhadap waktu selama proses pengisian kapasitor yang dimasukkan ke dalam minyak goreng.

Tabel 2. Nilai tahanan dan konstanta waktu untuk pengukuran kapasitan kapasitor yang dimasukkan ke dalam minyak goreng.

| No | R (k Ω) | ($\tau \pm \Delta \tau$) s |
|----|------------------|------------------------------|
| 1 | 180 | $(36 \pm 1) \times 10^2$ |
| 2 | 220 | $(344 \pm 9) \times 10$ |
| 3 | 470 | $(19 \pm 1) \times 10^2$ |
| 4 | 680 | $(16 \pm 2) \times 10^2$ |
| 5 | 820 | $(12 \pm 2) \times 10^2$ |
| 6 | 1000 | $(10 \pm 3) \times 10^2$ |
| 7 | 1200 | $(9 \pm 4) \times 10^2$ |



Gambar 6. Grafik hubungan konstanta waktu terhadap tahanan yang dimasukkan ke dalam minyak goreng.

Untuk kapasitor di dalam minyak goreng, nilai kapasitannya didapat dari grafik hubungan konstanta waktu terhadap tahanan sebesar $(81,4 \pm 0,3) \times 10$ pF. Dengan nilai kapasitan di udara (tanpa minyak) sebesar $(32,4 \pm 0,1) \times 10$ pF maka nilai konstanta dielektrik minyak goreng dapat dihitung mengikuti persamaan (7). Hasil perhitungan konstanta dielektrik minyak goreng adalah $k = 2,5 \pm 0,1$.

Untuk percobaan selanjutnya dengan cara yang sama juga dilakukan variasi sampel minyak. Hasil nilai kapasitan dan nilai konstanta dielektrik untuk berbagai minyak yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran konstanta dielektrik untuk setiap jenis minyak dengan berbagai nilai tahanan antara 180 k Ω s.d. 1,2 M Ω , $C_0 = (32,4 \pm 0,1) \times 10$ pF.

| No | Jenis Minyak | C (pF) | k |
|----|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1 | Minyak goreng | $(81,4 \pm 0,3) \times 10$ | $2,5 \pm 0,1$ |
| 2 | Minyak goreng bekas pakai | $(91,7 \pm 0,4) \times 10$ | $2,8 \pm 0,1$ |
| 3 | Minyak trafo | $(100 \pm 0,2) \times 10$ | $3,1 \pm 0,1$ |
| 4 | Minyak trafo bekas pakai | $(103,8 \pm 0,6) \times 10$ | $3,2 \pm 0,1$ |

Hasil pengukuran tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran lain yaitu berkisar 2,6 untuk minyak goreng. Selain itu nilai konstanta dielektrik minyak baru lebih kecil dari minyak goreng yang sudah dipanaskan [4]. Perbedaan nilai dengan acuan terjadi karena perbedaan jenis minyak yang digunakan. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa dengan waktu pemanasan yang berbeda nilai konstanta dielektriknya semakin besar. Hasil pengukuran dalam penelitian ini ditentukan dari pengukuran konstanta waktu selama proses pengisian kapasitor dan pengukuran kapasitan. Ketidakpastian berasal dari *fitting* data untuk pengukuran konstanta waktu. Selain itu, ketidakpastian juga berasal dari kapasitornya di mana pada saat mengeringkan kapasitornya kemungkinan kapasitornya berubah.

Pengukuran ini dilakukan dengan memvariasikan jenis minyak sebagai bahan yang hendak ditentukan nilai konstanta dielektriknya dengan nilai tahanan yang digunakan sama untuk setiap eksperimen. Minyak yang digunakan terdiri atas dua jenis, yaitu minyak goreng dan minyak trafo. Dari masing-masing minyak tersebut

dibedakan menjadi dua jenis, yakni minyak yang belum pernah digunakan dan minyak yang sudah pernah digunakan. Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan minyak yang sudah pernah digunakan sebelumnya dimaksudkan untuk mengetahui kerusakannya dan seberapa aman minyak tersebut setelah beberapa kali pemakaian.

Dengan metode ini pengukuran luas keping dan jarak antar keping tidak perlu dilakukan. Hal ini karena yang paling penting nilai konstanta dielektrik didapat dari perbandingan nilai kapasitan kapasitor dengan medium terhadap kapasitan kapasitor di udara, dengan syarat ukuran kapasitornya tetap. Selain itu, saat pengukuran kapasitan kapasitor pada minyak, kapasitor yang dimasukkan ke dalam wadah berisi minyak harus tercelup semua dan tidak ada gelembung udara. Dalam penelitian ini, nilai kapasitan di udara dijadikan sebagai pembandingan untuk nilai kapasitan yang dimasukkan ke dalam minyak.

Nilai konstanta dielektrik suatu medium secara ideal ditentukan dari perbandingan nilai kapasitan kapasitor di medium dengan nilai kapasitan kapasitor di ruang hampa. Dalam eksperimen ini digunakan medium udara sebagai pendekatan ruang hampa. Penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang sederhana, murah, mudah didapatkan dan tersedia di laboratorium. Selain itu, pengambilan datanya tidak membutuhkan waktu yang lama sehingga dapat digunakan untuk mendukung proses pembelajaran di perguruan tinggi khususnya pada matakuliah listrik magnet yaitu membahas tentang konstanta dielektrik dan juga untuk mendukung praktikum listrik magnet.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengukuran konstanta dielektrik untuk sampel minyak yang berbeda-beda dapat melalui pengamatan tegangan pada tahanan selama proses pengisian kapasitor. Nilai konstanta dielektrik untuk minyak yang bekas pakai lebih besar dari nilai konstanta dielektrik minyak yang baru.

PUSTAKA

- [1] G.L.Lippi, A Simple Experiment Highlighting Data Treatment Techniques: The Determination of The Relative Dielectric Constant of a Material, *Eur.J.Phys.* vol 34, 2013, pp 45-57.
- [2] T.T.Grove, M.F.Masters, and R.E.Miers, Determining Dielectric Constants Using a Parallel Plate Capacitor, *Am.J.Phys.* 66 No 10, 1998, pp 931-932.
- [3] Murwaningsih, A.Susi, dan Ign. Edi Santosa, Pengukuran Konstanta Dielektrikum Kertas, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng dan DIY*, 25 April 2015, pp 430-434.
- [4] Horacio Mungula Aguilar and Rigoberto Franco Maldonado, Capacitive Cells for Dielectric Constant Measurement, *Physics Education*, 2015, pp 662-666.
- [5] Tipler, Paul A..2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. 2. Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.